

УДК 621.793

С. И. Карпович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник (БГТУ);
С. Д. Латушкина, кандидат технических наук, заведующая лабораторией (ФТИ НАН Беларуси);
Д. В. Жук, инженер-технолог (ООО «Космос Телеком»);
С. С. Карпович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой (БНТУ);
О. Ю. Пискунова, инженер (БГТУ)

ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ НА ДЕРЕВОРЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ

В статье рассмотрены вопросы оптимизации свойств упрочняющих покрытий с показателями металла корпуса инструмента. Установлено, что твердость металла не должна быть ниже 50 HRC, при более низкой твердости наблюдается появление сетки микротрещин, что снижает износостойкость инструмента с пленочным покрытием.

The article describes how to optimize the properties of hardening coatings with performance metal tool body. It has been established that the hardness of the metal should not be lower than 50 HRC, at a lower observed hardness mesh appearance of microcracks, which reduces tool life of the film-coating.

Введение. Надежность, долговечность и работоспособность узлов трения зависит от состояния и свойств контактируемых поверхностей. Наиболее часто применяемыми технологиями для придания поверхностям нужного комплекса показателей являются поверхностная закалка, химико-термическая обработка, формирование пленочных покрытий. Эти технологии применимы как для упрочнения деталей машин, так и для инструмента.

Характерной особенностью износа инструмента является то, что одна из контактируемых поверхностей, поверхность резания на обрабатываемом материале, постоянно обновляется. Эту особенность необходимо учитывать при изучении трибомеханических явлений в зоне контакта инструмент – обрабатываемый материал.

Повышение эффективности эксплуатации инструмента осуществляется в основном по трем направлениям: снижение энергоемкости процесса резания, повышение качества поверхностей обработки и увеличение износостойкости инструмента. Основные исследования ведутся в области совершенствования режущей зоны инструмента.

Наиболее эффективным способом повышения износостойкости лезвийного режущего инструмента является его упрочнение путем нанесения упрочняющих покрытий.

Для обеспечения максимальной эффективности пленочного покрытия следует учитывать величину и знак напряжений между упрочненной пленкой и металлом основы, хорошую адгезию в зоне их контакта, разницу в твердости покрытия и основы.

Режущую часть инструмента изготавливают из инструментальных сталей, твердых сплавов, минералокерамики, сверхтвердых материалов. Химический состав инструментальных сталей

обеспечивает формирование нужной структуры при последующих термической и химико-термической обработках. Хорошим сочетанием свойств по износостойкости и механическим показателям обладают быстрорежущие стали. Основным легирующим элементом в этих сталях является вольфрам, который образует карбид вольфрама, обладающий высокой твердостью и хорошей теплопроводностью. Сочетание этих показателей обеспечивает высокую скорость резания инструментом из быстрорежущих сталей и износостойкость [1].

При проектировании дереворежущего инструмента необходимо учитывать особенности обрабатываемого материала – древесины. В первую очередь ее низкую теплопроводность и анизотропию свойств. Характер распределения тепла при механической обработке древесины отличается от баланса распределения тепла при резании металлов, где основное количество тепла поглощается стружкой, дальше по убывающей идет поглощение тепла изделием и на последнем месте тепло, идущее на нагрев инструмента. Этого тепла достаточно, чтобы температура на поверхности лезвия достигала значения 1000°C [2].

Современные способы повышения эксплуатационных характеристик деталей, в том числе и инструмента, основаны на формировании упрочняющих покрытий, имеющих высокую твердость, коррозионную стойкость [3].

Качество пленочных покрытий обеспечивается не только его свойствами, но и адгезией к металлу основания. Решение этой проблемы найдено в нанесении промежуточных слоев, обеспечивающих переходную зону между металлом основы и упрочняющим твердым покрытием [4].

Основная часть. Установлена взаимосвязь влияния толщины адгезионной пленки, концен-

трации и вида имплантированной примеси, размера зерен, стационарного потенциала коррозии, микротвердости упрочняющей пленки на физико-механические характеристики инструмента.

Представляет практический интерес установить влияние соотношения твердости упрочняющей пленки к твердости металлической основы инструмента на его эксплуатационные показатели.

При обработке древесины самым теплопроводным является материал инструмента, который выполняет роль своеобразного канала для отвода тепла из зоны резания. В результате чего, несмотря на невысокие механические показатели древесины в сравнении с металлом, лезвие дереворежущего инструмента нагревается до температур порядка 800°C. Температурный фактор не только является причиной износа инструмента, но и способствует пластической деформации вершины режущего клина в виде ее отгиба, образования валика на задней поверхности резца.

Деформация лезвия режущего инструмента ведет не только к изменению его линейных размеров и геометрии, но и при наличии пленочного упрочняющего покрытия к растрескиванию покрытия и, как следствие, к уменьшению износостойкости. В этом случае эффект от нанесения упрочняющего износостойкого покрытия уменьшается и может оказаться бесполезным.

Решение данной технической проблемы видится в оптимизации соотношения величины твердости упрочняющего покрытия к твердости основного металла.

Представляет интерес установить, как износостойкость инструмента с упрочняющими покрытиями зависит от соотношения твердости покрытия к твердости металла основы.

Для обеспечения разности в твердости покрытия и металла основы брались разные марки инструментальных сталей. Марки сталей подбирались таким образом, чтобы в их составе в разных количествах находились легирующие элементы: хром, молибден, вольфрам, ванадий, кремний, никель. Этим обеспечивалось различие в твердости разных марок сталей после рекомендуемых режимов термообработки.

Одним из основных легирующих элементов является хром. Он повышает твердость, износостойкость и коррозионную стойкость стали, увеличивает склонность к отпускной хрупкости, входит в состав сталей, предназначенных для азотирования. Твердость стали с невысоким содержанием в ней хрома при отпуске снижается медленнее, чем у углеродистых сталей.

Никель у хромоникелевых инструментальных сталей повышает прочность, твердость, способствует сохранению вязкости, измельчению размеров зерна. Однако он повышает опасность образования остаточного аустенита, что ведет к снижению твердости после закалки.

Вольфрам входит в состав многих инструментальных материалов, не только сталей. Карбиды вольфрама обладают хорошим сочетанием высокой твердости и теплопроводности. Вольфрам повышает пределы прочности, твердости, способствует равномерному распределению карбидов. При низком содержании вольфрама (1–1,5)% и низкой температуре закалки (760–820)°C карбиды вольфрама не растворяются, что обеспечивает сохранение высокой твердости и износостойкости. Наличие вольфрама в сплавах уменьшает их пластичность, стали не обнаруживают способности к вторичной твердости, однако обладают достаточной устойчивостью к отпуску.

Молибден почти полностью устраняет опасность охрупчивания стали при отпуске до температур 300 и 450–650°C.

Ванадий повышает предел текучести, способствует измельчению зерна, повышает стойкость к отпуску.

Легирующие элементы Cr, Ni, Mo, Mn существенно влияют на прокаливаемость стали в направлении уменьшения их влияния.

Для них соотношение твердости HRC к ударной вязкости КСИ (дж/см²) равняется соответственно: 0,67; 2,5; 1,1; 1,4. Этот показатель является ориентировочным при выборе марки стали для изготовления ножей рубильных машин, поскольку не учитывается абсолютная величина твердости. На практике применяют ножи твердостью не выше HRC ≈ 58–59. Из рассмотренных марок сталей оптимальное соотношение рекомендуемой твердости к наибольшему значению ударной вязкости равняется 0,7.

В таблице приведены некоторые показатели сталей после закалки и отпуска при температуре 400°C. Температура отпуска выбрана исходя из температурного режима ионно-плазменного азотирования – порядка 400°C.

Свойства сталей для изготовления опытных образцов приведены в таблице.

Твердость упрочняющих покрытий зависит от их химического состава и изменяется в широких пределах: TiO₂ – 16 ГПа, TiN – (20–22) ГПа, Ti(CN) – (22–26) ГПа, TiCrN – (24–30) ГПа, TiC – 32 ГПа, TiAlN – (32–36) ГПа. Различия по твердости для этого ряда соединений между минимальным и максимальным величинами составляет до 2,2 раза.

Показатели сталей после закалки и отпуска при температуре 400°C

Свойства	Марки сталей					
	6XB2C	X6BФ	X12MФ	X12BM	5XHM	XBG
HRC после ТО и отпуска 400°C	53	56	60	59	47	57
КСИ Дж/см ²	21	83	54	44	33	40
Объем переработанной древесины, м ³ , до затупления ножей	310	395	430	410	160	320

Соотношение твердости упрочняющего покрытия к твердости металла основы обеспечивает хорошее сочетание износостойкости покрытия с механическими свойствами корпуса инструмента. При работе инструмента в условиях ударных, изгибающих нагрузок, помимо твердости рабочей зоны, материал корпуса должен иметь высокие показатели прочности. Твердость покрытия обеспечивает высокую износостойкость инструмента, а твердость металла корпуса в диапазоне 56–59 HRC – достаточную механическую прочность. Большее значение твердости ведет к хрупкому выкрашиванию режущей кромки инструмента и разрушению самого корпуса в условиях вибрации и ударных нагрузок. Меньшее значение твердости металла под упрочненным твердым слоем приводит к пластическому течению, деформации режущей кромки и, как следствие, появлению микротрещин и разрушению покрытия.

Толщина покрытия при использовании современных технологий нанесения упрочняющих слоев составляет от нескольких микрометров до величин порядка миллиметра. Практическое значение имеет толщина покрытия, соизмеримая с допустимым радиусом округления режущей кромки при затуплении инструмента. Износ по передней поверхности режущего клина минимизируется за счет твердого упрочняющего покрытия. При заточке инструмента по задней поверхности высокую твердость сохраняет слой на передней поверхности, который располагается на металле основы, имеющей меньшую твердость.

Эта часть задней поверхности изнашивается более интенсивно, то есть наблюдается эффект самозатачивания, что увеличивает период стойкости инструмента. В такой ситуации процесс затупления идет по схеме микровыкрашивания твердого слоя. При значительной толщине слоя, больше допустимого радиуса округления режущей кромки, процесс затупления идет по схеме макровыкрашивания, что связано с необходимостью более частой заточки инструмента.

Оптимальное соотношение твердости и глубины упрочненного слоя к материалу инструмента на его износостойкость определялось

при производственных испытаниях опытных партий инструмента. Испытания проводились на рубильных машинах при заготовке топливной щепы. Комплекты рубильных ножей изготавливались из сталей марок 6XB2C, X6BФ, X12MФ, 5XHM, XBG с применением ионно-плазменного азотирования на следующих режимах: температура азотирования ≤450°C, длительность процесса 6 и более часов в атмосфере Ar + N₂ + H₂, абсолютное давление 100–250 Па.

Критерием износостойкости был объем переработанной древесины, м³, в щепу за период стойкости ножей.

Заключение. По результатам испытаний можно сделать следующие выводы. Износостойкость упрочняющих покрытий на режущем инструменте зависит не только от свойств упрочненного слоя, но и от свойств металла основы, на который наносится упрочняющее покрытие.

Для дереворежущего инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок, соотношение твердости упрочненного слоя к твердости металла основы в пределах 1,3–1,7 обеспечивает высокую износостойкость инструмента при эксплуатации в производственных условиях.

Литература

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали М., 1968.
2. Васин С. А., Верещака А. С., Кушнер А. С. Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. Резание материалов М.: МГТУ им. Баумана, 2011. 488 с.
3. Вершина А. К., Агеев В. А. Ионно-плазменные защитно-декоративные покрытия Гомель: ИММС НАНБ, 2001. 172 с.
4. Режущий инструмент: пат. Респ. Беларусь, МПК С 23 С 28/00 / С. Д. Латушкина, Д. С. Карпович, О. И. Гапанович, А. Г. Жижченко, А. В. Емельянов, В. А. Емельянов, С. Ф. Сенько; заявитель Физико-технический ин-т НАН Беларуси № и 20121066; заявл. 29.11.12; опубл. 30.06.13 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2013.

Поступила 27.02.2014